

ANALISIS INDEKS BAHAYA KEBAKARAN HUTAN UNTUK WILAYAH RIAU, INDONESIA

ANALYSIS OF FOREST FIRE DANGER INDEX FOR RIAU REGION, INDONESIA

Muh Taufik* dan Wisnu Narendratomo

Laboratorium Hidrometeorologi, Dept. Geofisika dan Meteorologi, FMIPA-IPB
Gedung FMIPA Wing 19 Lv. 4 Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

* Corresponding Author. E-mail: mtaufik@ipb.ac.id

Penyerahan Naskah: 31 Januari 2011

Diterima untuk diterbitkan: 5 Juni 2011

ABSTRACT

Forest fire is one of the greatest environmental problems faced by Indonesia particularly in Riau region. It may be anticipated by developing early warning system to assess forest fire danger. In this paper, the assessment of forest fire danger was conducted by using the Keetch Byram Drought Index (KBDI) model. This Paper presents our research in Riau region that aimed to study the behavior of the model and to modify the model to satisfy local climate condition of Riau region. The model was applied for climate data in four selected weather station i.e Pekanbaru, Japura Rengat, Dabo Singkep and Tanjung Pinang for the period of 1989-2008. We classified fire danger level into four categories including low, moderate, high, and extreme. We found that temporal distribution of the danger level varies among stations and reached extreme fire danger level during September-October. Our modification to the model obtained new drought factor formula having lower value than the original drought factor of the model. It resulted in lower modified KBDI (mKBDI) than the original KBDI values.

Keyword: KBDI, Riau region, mKBDI, drought factor, temporal distribution

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki wilayah dengan hutan tropis dataran rendah yang luas dimana sebagian hutan tersebut terletak di Pulau Sumatra dan Kalimantan. Berdasarkan model tutupan lahan yang dikembangkan oleh Bank Dunia dengan menggunakan citra satelit, luas kawasan hutan untuk tiga pulau di Indonesia, yaitu Sumatra, Kalimantan dan Sulawesi mencapai 103 juta hektar (Holmes 2000). Sejak tahun 1990an, jumlah hutan tersebut berkurang yang disebabkan oleh aktivitas manusia dalam memanfaatkan hutan. Dengan menggunakan data penginderaan jauh, Hansen *et al.*, (2009) menyebutkan laju deforestasi Indonesia untuk periode 1990-2000 sebesar 1.87 Mha tahun⁻¹ dan laju tersebut turun menjadi 0.71 Mha tahun⁻¹ pada periode 2000-2005. Laju deforestasi yang tinggi pada periode 1990-2000 disebabkan oleh kebakaran hutan pada lahan gambut di Sumatra dan Kalimantan, yang sebagian prosesnya dipicu oleh fenomena iklim El Nino.

Kebakaran hutan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan manusia. Akumulasi asap yang

terjadi akibat kebakaran dapat menimbulkan beberapa gangguan seperti gangguan kesehatan, lalu lintas penerbangan baik nasional maupun internasional serta dapat mengganggu hubungan internasional. Selain akumulasi asap, kebakaran hutan juga akan menghasilkan emisi gas CO₂. Menurut Houghton (2010), Indonesia merupakan negara terbesar kedua setelah Brazil yang menghasilkan emisi gas CO₂ akibat kebakaran hutan.

Upaya untuk mengurangi resiko kejadian kebakaran hutan pada lahan gambut perlu dilakukan untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan dari kejadian tersebut. Salah satu cara yang digunakan adalah dengan melakukan penilaian bahaya kebakaran hutan. Beberapa model untuk menilai bahaya kebakaran hutan telah dikembangkan antara lain: *Fire Weather Index* (FWI) dan *Keetch Byram Drought Index* (KBDI). Berdasarkan ketersediaan data, model FWI (Van Wagner 1987) merupakan model yang cenderung rumit karena memerlukan data yang kompleks untuk mewakili faktor meteorologi dan faktor vegetasi. Sehingga pada kondisi ketersediaan data yang terbatas model

FWI sulit diterapkan. Sebaliknya, Model KBDI (Keetch dan Byram 1968) merupakan model dengan perhitungan yang sederhana karena hanya memerlukan data curah hujan dan suhu udara maksimum harian yang tersedia pada stasiun pengamatan cuaca.

Metode KBDI pertama kali dikembangkan dengan menggunakan karakteristik iklim wilayah Florida, Amerika Serikat (Keetch dan Byram 1968). Karena kemudahan dalam perhitungan dan kebutuhan data yang sedikit (Dimitrakopoulos and Bemmerzouk 2003), model KBDI banyak diaplikasikan pada berbagai negara termasuk di wilayah tropis Indonesia (lihat Buchholz dan Weidemann, 2000; Murdiyarto *et al.* 2002a). Penggunaan indeks KBDI sebagai indikator bahaya kebakaran hutan mendapatkan kritik jika diterapkan pada wilayah dengan karakteristik iklim berbeda mengingat laju kekeringan berbeda-beda untuk jenis tanah dan curah hujan tahunan (Liu *et al.* 2010). Penelitian sebelumnya menunjukkan KBDI bukan indikator yang baik untuk penilaian potensi bahaya kebakaran hutan pada wilayah lain di USA, seperti Mississippi (Cooke *et al.* 2007; Choi *et al.* 2009) dan Georgia (Chan *et al.* 2004).

Modifikasi KBDI perlu dilakukan untuk menyesuaikan model dengan karakteristik iklim lokal. Petros *et al.* (2011) telah mengembangkan indeks kekeringan yang diadopsi dari model KBDI untuk diterapkan pada wilayah Mediterania. Pada wilayah lahan basah Sumatra Selatan, Taufik (2010) melakukan modifikasi model KBDI dengan menyertakan faktor kedalaman muka air tanah untuk diaplikasikan pada Hutan Tanaman Industri di Kabupaten OKI-Sumatera Selatan. Petros *et al.* (2011) melakukan modifikasi pada faktor kekeringan untuk mengadopsi iklim lokal. Pada kondisi keterbatasan pada data kedalaman muka air tanah, modifikasi indeks KBDI dapat dilakukan dengan menyesuaikan nilai parameter pada faktor kekeringan agar sesuai dengan karakteristik iklim lokal. Makalah ini mencoba untuk menerapkan indeks KBDI untuk penilaian bahaya kebakaran hutan di wilayah Riau. Wilayah kajian merupakan lokasi kejadian kebakaran hutan tahunan. Berdasarkan hal tersebut, tulisan ini bertujuan untuk menganalisa perilaku temporal level bahaya

kebakaran hutan di wilayah Riau, dan untuk melakukan modifikasi terhadap model KBDI dengan mengikuti karakteristik iklim wilayah Riau.

METODE PENELITIAN

Lokasi Kajian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data sekunder berupa curah hujan dan suhu udara maksimum harian dari stasiun cuaca di wilayah Riau (Tabel 1). Stasiun-stasiun cuaca tersebut terletak di Provinsi Riau (Pekanbaru dan Japura Rengat) dan Provinsi Kepulauan Riau (Dabo Singkep dan Tanjung Pinang).

Pengolahan Data Cuaca

Data unsur cuaca (curah hujan dan suhu udara maksimum) harian diolah menggunakan MS. EXCEL untuk mendapatkan nilai KBDI harian. Data tersebut dikelompokkan per tahun pengamatan. Pada kasus data harian yang kosong, metode rata-rata digunakan untuk pengisian data tersebut.

Perhitungan KBDI Harian

Dalam melakukan perhitungan nilai KBDI, ditentukan terlebih dahulu KBDI awal yaitu KBDI bernilai nol. KBDI awal sulit untuk ditentukan, akan tetapi dapat diasumsikan bahwa satu hari setelah curah hujan dalam satu minggu mencapai 150-200 mm memiliki nilai KBDI yang rendah mendekati nol. Setelah ditentukan nilai KBDI awal, dilakukan perhitungan nilai KBDI dengan menggunakan persamaan :

$$KBDI = (Q_{t-1} - R_{net}) + dQ \quad (1)$$

mKBDI adalah indeks kekeringan KBDI hari ke t , Q_{t-1} adalah indeks KBDI pada $t-1$, R_{net} adalah curah hujan netto (mm). Faktor Curah hujan diperhitungkan jika curah hujan harian lebih dari 5.1 mm. Nilai dQ dihitung dengan persamaan (Alexander 1990):

$$dQ = \frac{[203 - Q_{t-1}][0,968 \exp(0,0875 * T_{mx} + 1,5552) - 8,3]}{1 + 10,88 \exp(-0,001736 * Ro)} \times 10^{-3} \quad (2)$$

Tabel 1. Ketersediaan data pada beberapa stasiun Cuaca di wilayah Riau

No	Stasiun	Koordinat		Ketersediaan data	Keterangan
		Lat	Lon		
1	Pekanbaru	00°28 LU	101°26 BT	1990-2008	Provinsi Riau
2	Japura Rengat	00°20 LS	102°19 BT	1989-2008	Provinsi Riau
3	Tanjung Pinang	00°55 LU	104°32 BT	1989-2008	Provinsi Kepulauan Riau
4	Dabo Singkep	00°29 LS	104°35 BT	1989-2008	Provinsi Kepulauan Riau

Q_{t-1} adalah Indeks kekeringan pada hari sebelumnya. T_{mx} merupakan suhu udara maksimum harian ($^{\circ}C$), R_0 adalah curah hujan tahunan wilayah kajian sebesar 2591 mm.

Selanjutnya nilai KBDI dikelompokkan menjadi empat level bahaya kebakaran hutan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabulasi level bahaya kebakaran hutan

Selang KBDI	Level bahaya kebakaran
0 – 99	RENDAH
100 – 149	SEDANG
150 – 174	TINGGI
175 – 203	EKSTRIM

Model dan Simulasi

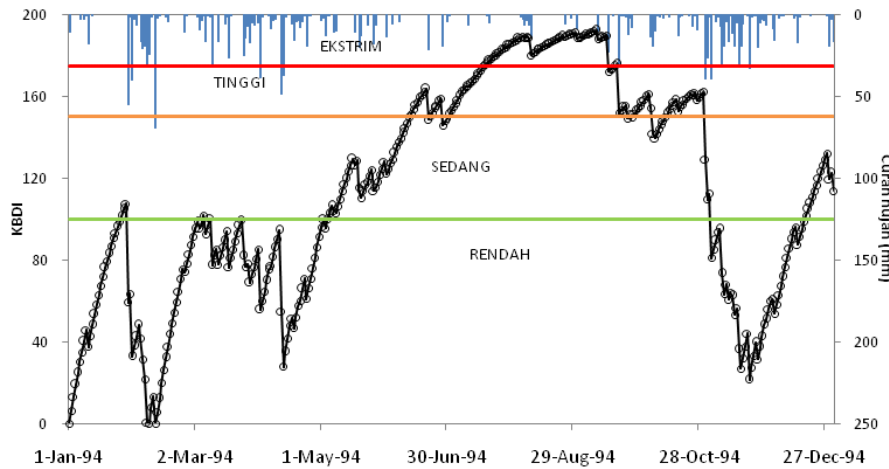
Modifikasi pada indeks KBDI dilakukan untuk menyesuaikan faktor kekeringan (dQ) dengan kondisi iklim lokal wilayah Riau. Tahapan penyesuaian pengaruh faktor iklim lokal mengikuti prosedur Keetch and Byram (1968) dan Petros *et al.*, (2011). Setelah proses modifikasi faktor kekeringan, model KBDI modifikasi disebut sebagai mKBDI dihitung seperti prosedur perhitungan KBDI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

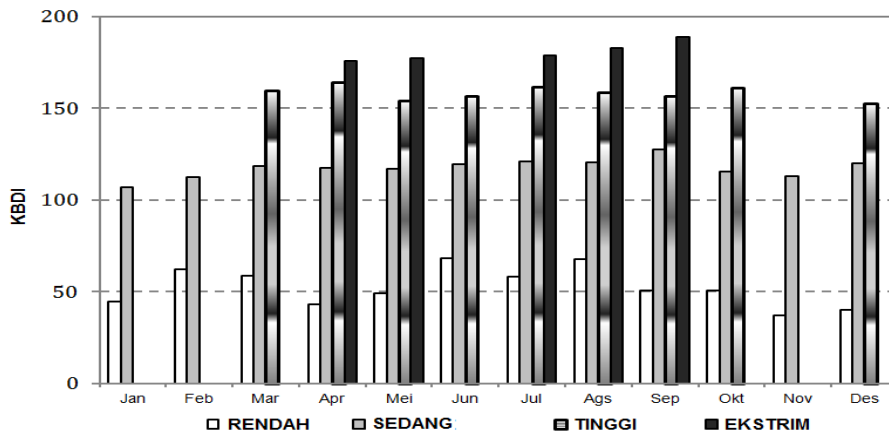
Stasiun Cuaca Pekanbaru

Awal perhitungan nilai mKBDI stasiun cuaca Pekanbaru dimulai pada tanggal 24 Januari 1990 ketika curah hujan seminggu sebelumnya mencapai 168,6 mm. Berdasarkan nilai KBDI, kelas bahaya kebakaran hutan pada tahun 1990, 1992, 1994 dan 1997 termasuk kedalam kelas EKSTRIM. Selama periode 1990-2008, nilai KBDI tertinggi terjadi pada tahun 1994 sebesar 192 bertepatan dengan curah hujan tahunan terendah pada tahun 1994 sebesar 1616,1 mm. Dinamika KBDI harian tahun 1994 disajikan pada Gambar 1. Nilai KBDI meningkat secara alami dengan kejadian musim kemarau dan menurun pada saat musim penghujan. Peningkatan nilai KBDI menjadi kelas berbahaya (TINGGI dan EKSTRIM) terjadi pada bulan Mei-Oktober yaitu pada periode curah hujan rendah.

Secara temporal, Fluktuasi KBDI bulanan stasiun cuaca Pekanbaru disajikan pada Gambar 2. KBDI yang termasuk kedalam kelas aman (RENDAH dan SEDANG) terjadi pada bulan Januari dan Februari. Level bahaya kebakaran ektrim secara temporal terjadi pada bulan April-Mei dan Juli-September.



Gambar 1 Dinamika curah hujan (histogram) dan KBDI harian (garis titik) tahun 1994 di stasiun cuaca Pekanbaru.



Gambar 2 Sebaran temporal KBDI bulanan stasiun cuaca Pekanbaru periode 1990-2008.

Stasiun Cuaca Japura Rengat

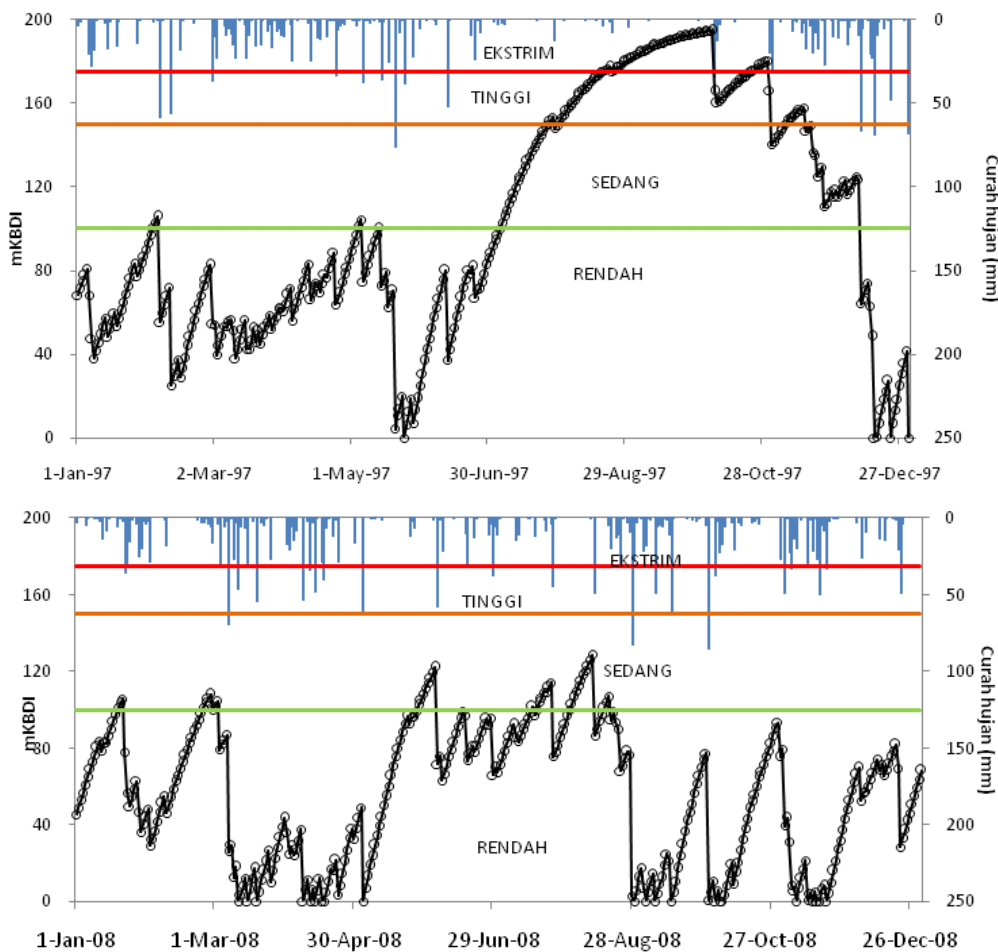
Perhitungan nilai KBDI stasiun cuaca Japura Rengat dimulai tanggal 8 Januari 1989 dengan jumlah curah hujan seminggu sebelumnya adalah 152,6 mm. Selama periode 1989–2008 curah hujan tahunan sebesar 1639,8 mm pertahun dan nilai KBDI harian maksimum mencapai 194,9 pada tanggal 6 Oktober. Sebaliknya, dinamika nilai KBDI harian pada tahun 2008 memiliki nilai KBDI harian maksimum terkecil yaitu 129. Dinamika KBDI yang terjadi pada tahun 2008 berada pada kisaran kelas aman (RENDAH dan SEDANG) terhadap ancaman bahaya kebakaran hutan. Curah hujan yang diterima di suatu wilayah akan mempengaruhi kadar air tanah yang selanjutnya akan menentukan ketersediaan bahan bakaran (*fuel*). Pada kondisi hujan tinggi maka ketersediaan bahan bakaran menjadi lebih sedikit.

Fluktuasi KBDI bulanan stasiun cuaca Japura Rengat berada pada kelas aman terhadap kejadian kebakaran hutan pada periode bulan Desember hingga Februari. Sedangkan nilai KBDI kelas berbahaya terjadi mulai bulan Maret-November

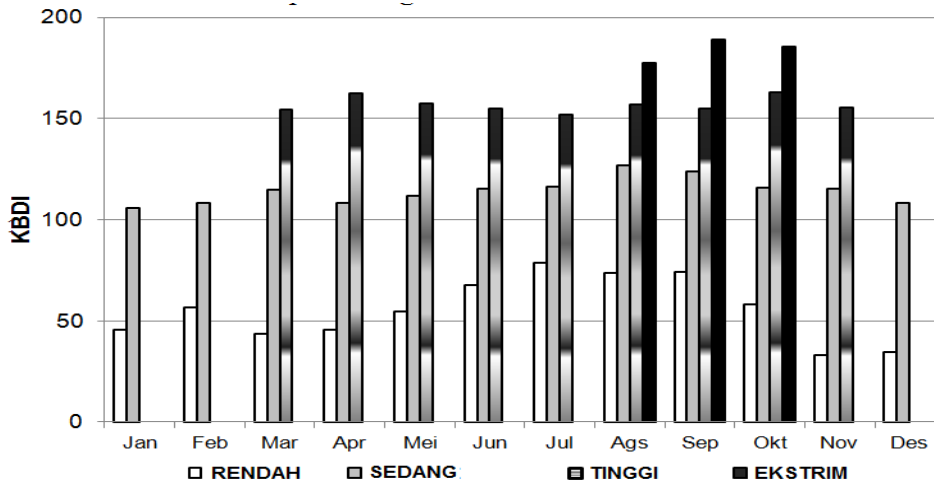
dengan tingkat ancaman kebakaran hutan tertinggi (EKSTRIM) terjadi pada bulan Agustus-Oktober. Hal ini dikarenakan pada bulan tersebut merupakan puncak musim kemarau dengan curah hujan yang sedikit. Selain bulan tersebut, bahaya kebakaran hutan perlu diwaspadai pada bulan April karena terjadi peningkatan nilai KBDI pada kelas TINGGI (Gambar 4).

Stasiun Cuaca Tanjung Pinang

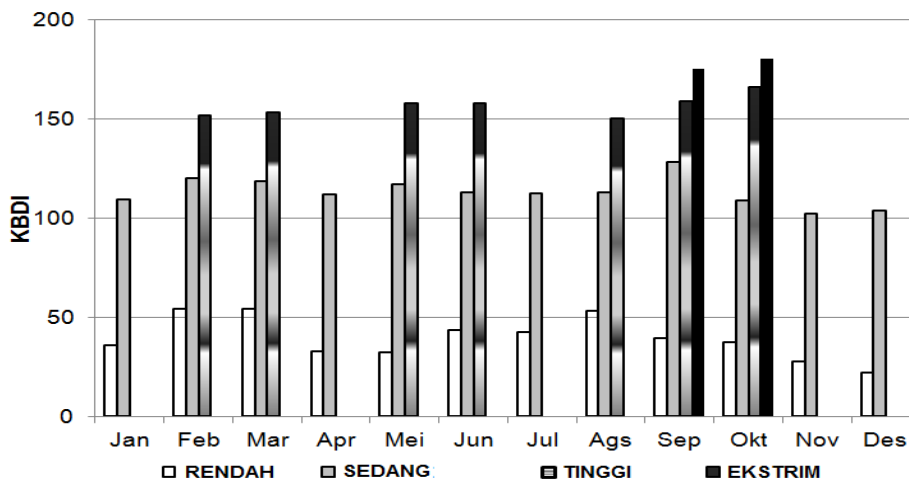
Awal perhitungan KBDI stasiun cuaca Tanjung Pinang dimulai tanggal 31 Maret 1989 dengan curah hujan seminggu sebelumnya yaitu 155 mm. Tahun 1994 dan 1997 merupakan tahun kelas EKSTRIM. Sedangkan pada tahun 1998 hingga 2002 nilai KBDI berada pada kelas RENDAH hingga SEDANG. Sepanjang periode 1989 hingga 2008, curah hujan harian maksimum terendah terjadi pada tahun 1997 dengan curah hujan sebesar 99,4 mm. Sementara itu, nilai KBDI harian maksimum tertinggi tercatat pada tahun 1994 yang mencapai 184. Secara temporal bahaya kebakaran hutan meningkat mulai Bulan Agustus-Oktober (Gambar 5).



Gambar 3 Dinamika curah hujan (histogram) dan KBDI harian (garis titik) tahun 1997 (atas) dan 1998 (bawah) di stasiun cuaca Japura Rengat.



Gambar 4 Sebaran temporal KBDI bulanan stasiun cuaca Japura Rengat periode 1989-2008.



Gambar 5 Sebaran temporal KBDI bulanan stasiun cuaca Tanjung Pinang periode 1989-2008.

Stasiun Cuaca Dabo Singkep

Perhitungan nilai KBDI pada stasiun cuaca Dabo Singkep dimulai tanggal 19 Januari 1989 dengan curah hujan seminggu sebelumnya mencapai 177,4 mm. Nilai KBDI harian maksimum tertinggi terjadi pada tahun 2005 dengan nilai 177. Level aman dari bahaya kebakaran hanya terjadi pada 2 bulan yaitu Mei dan Desember. Selebihnya level bahaya kebakaran mencapai level TINGGI dan mencapai level EKSTRIM pada bulan Maret. Stasiun Dabo Singkep berlokasi di Kepulauan Riau memungkinkan level bahaya kebakaran pada kondisi rendah dan sedang.

Modifikasi Faktor Kekeringan

a. Mengganti nilai curah hujan tahunan (R_o) yang digunakan untuk menghitung faktor kekeringan. Dalam perhitungan Keetch Byram untuk wilayah Florida, Amerika Serikat digunakan R_o sebesar 50 inch (1275 mm). Sedangkan untuk wilayah Riau yang memiliki kondisi tropis basah digunakan nilai R_o yaitu 102 inch (2 591 mm) dengan

suhu dengan suhu udara maksimum rata-rata (T_o) yaitu 80°F (26,7°C).

Dengan menggunakan asumsi $T = T_o = 80^\circ\text{F}$ dan $R_o = 102 \text{ in.}$, maka persamaan asli pada Keetch dan Byram (1968) no. 16 menghasilkan nilai:

$$t_{T,R} = 0,892 \times t_{80,R_o} \quad (1)$$

b. Asumsi kadar air tanah pada kapasitas lapang (w_c) pada lokasi kajian sebesar 8 in. Kemudian dari kombinasi persamaan asli no. 7 dan no. 13, persamaan 17 (Keetch and Byram, 1968) menjadi:

$$t_{T,R_o} = \frac{w_c}{0,352 \exp(0,0486T) - 3,015} \quad (2)$$

t adalah jeda waktu evapotranspirasi (hari), T merupakan suhu udara maksimum harian (T_{mx} , °F). Dari persamaan (2) diperoleh nilai t_{80,R_o} sebesar = 56,47 hari.

c. Dengan substitusi Pers (1) dan (2) ke Persamaan (12) pada Keetch and Byram (1968) diperoleh nilai dQ sebesar:

$$dQ = \frac{[800 - Q_0][0,492 \exp(0,0486 * T_{mx}) - 4,2]^{0,5}}{1 + 10,88 \exp(-0,04409 * R_0)} \times 10^{-3} \quad (3)$$

Konversi satuan T dan R_0 ke unit metrik menghasilkan persamaan faktor kekeringan untuk wilayah Riau:

$$dQ = \frac{[203 - Q_0][0,492 \exp(0,0875 * T_{mx} + 1,5552) - 4,2]^{0,5}}{1 + 10,88 \exp(-0,001736 * R_0)} \times 10^{-3} \quad (4)$$

Q_0 adalah Indeks kekeringan pada hari sebelumnya ($t - 1$). Persamaan (4) dapat dituliskan ke dalam persamaan (5) untuk dapat dibandingkan dengan model faktor kekeringan Keetch and Byram (1968).

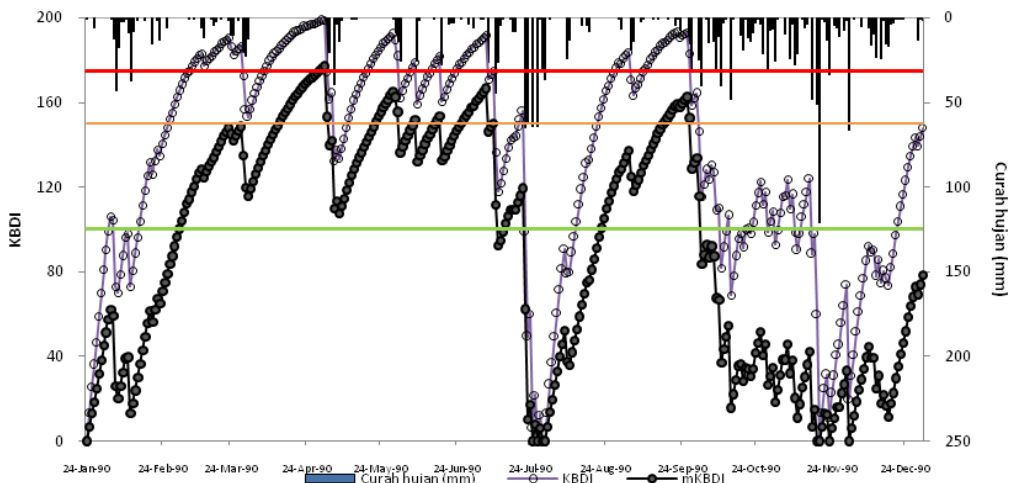
$$dQ = \frac{[203 - Q_0][a_T \exp(b_T * T_{mx} + 1,5552) - c_T]^{0,5}}{1 + 10,88 \exp(-0,001736 * R_0)} \times 10^{-3} \quad (5)$$

Pada model Keetch and Byram (1968), nilai a_T , b_T , dan c_T dalam unit metrik sebesar 0.968, 0.0875, dan 8.30 (Alexander 1990).

Nilai mKBDI memiliki nilai indeks yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai KBDI tanpa modifikasi. Hal ini disebabkan nilai dQ pada model KBDI lebih besar dibandingkan dengan nilai mKBDI. Nilai parameter kekeringan a_T dan c_T pada model KBDI adalah 0,000968 dan 0,0083, sedangkan untuk mKBDI nilai parameter a_T dan c_T adalah 0,000492 dan 0,0042. Perbedaan nilai dQ ini dipengaruhi oleh penggunaan nilai R_0 sebagai asumsi awal dalam membangun model KBDI. Nilai R_0 yang berbeda pada masing-masing model berpengaruh terhadap nilai jeda waktu evapotranspirasi yang dihasilkan.

Pada persamaan model KBDI menggunakan R_0 sebesar 50 inch (1275 mm) menghasilkan jeda waktu evapotranspirasi 25,64 hari. Sedangkan pada model mKBDI menggunakan R_0 sebesar 102 inch (2591 mm) menghasilkan jeda waktu evapotranspirasi 50,37 hari. Dari perbedaan jeda waktu evapotranspirasi tersebut diketahui bahwa waktu untuk defisiensi kelembaban tanah akan lebih cepat terjadi pada model KBDI yang diaplikasikan di Riau. Hal ini ditunjukkan dengan nilai KBDI yang berada di tingkat bahaya kebakaran hutan yang lebih tinggi dibandingkan dengan model mKBDI. Ilustrasi nilai KBDI dan mKBDI disajikan pada Gambar 6.

Selain curah hujan tahunan, mungkin terdapat faktor lain yang berpengaruh terhadap rendahnya nilai mKBDI jika dibandingkan dengan KBDI meskipun memiliki nilai suhu udara maksimum yang lebih tinggi. Wilayah Riau merupakan dataran rendah yang sebagiannya merupakan ekologi lahan basah/rawa di Pantai Timur Sumatra (Murdiyarso *et al.* 2002b). Pada kondisi lahan basah, kedalaman muka air tanah biasanya dekat dengan permukaan tanah sehingga pengaruh muka air tanah sangat besar terhadap dinamika kekeringan pada tanah lapisan atas. Mungkin kondisi tersebut yang menyebabkan model mKBDI yang dihasilkan untuk wilayah Riau memiliki nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan model aslinya. Penelitian sebelumnya menunjukkan kondisi edapik sangat berpengaruh pada model KBDI yang kurang akurat dalam prediksi potensi bahaya kebakaran hutan. Sparks *et al.* (2002) mengemukakan KBDI tidak cocok untuk diaplikasikan pada tanah berpasir di Arkansas, USA. Lebih dalam lagi Reardon *et al.* (2009) menyebutkan bahwa perbaikan terhadap model KBDI dapat dilakukan dengan mempertimbangkan properties dari hidrologi tanah yang dapat mempengaruhi penyimpanan dan pergerakan air.



Gambar 6 Perbandingan model KBDI (lingkaran kosong) dan mKBDI (lingkaran penuh) pada tahun 1990.

Pada kondisi tropis Indonesia, Taufik (2010) mencoba mengintegrasikan kedalaman muka air tanah terhadap dinamika indeks KBDI di lahan basah hutan tanaman industri Kab. OKI-Sumatra Selatan dengan hasil yang cukup memuaskan. Model tersebut bisa saja digunakan di tempat lain dengan karakteristik hidrologi yang serupa jika terdapat pengamatan kedalaman muka air tanah harian.

Pada kondisi keterbatasan data pengamatan harian kedalaman muka air tanah, model mKBDI yang dikembangkan untuk wilayah Riau ini dapat diterapkan dan diaplikasikan di tempat lain. Pendekatan serupa telah dilakukan oleh Petros *et al.* (2011) untuk wilayah Mediterania. Kebutuhan data yang minimal dapat menjadi keunggulan tersendiri model KBDI untuk dapat diaplikasikan pada berbagai wilayah.

KESIMPULAN

Perilaku KBDI sangat dipengaruhi oleh musim, pada periode musim hujan nilai KBDI cenderung pada level bahaya kebakaran aman (rendah dan sedang) dan sebaliknya pada musim kemarau nilai KBDI meningkat hingga mencapai level bahaya kebakaran ekstrim. Secara temporal pencapaian level ekstrim bervariasi berdasarkan lokasi. Untuk Pekanbaru level bahaya kebakaran ekstrim dimulai bulan Mei hingga Oktober. Untuk Japura rangat terjadi pada bulan Agustus-Oktober, dan lokasi Tanjung Pinang pada bulan September-Oktober.

Modifikasi terhadap faktor kekeringan model KBDI menghasilkan nilai KBDI yang lebih rendah dari model aslinya. Curah hujan yang tinggi menyebabkan laju defisiensi kelembaban tanah berlangsung lebih lambat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, M.E. 1990. Computer calculation of the Keetch-Byram Drought Index – programmers beware! *Fire Manag. Notes* 51 (4), 23-25
- Buchholz, G., Weidemann, D., 2000. The use of simple fire danger rating system as a tool for early warning in forestry. *Int. Forest Fire News* 23, 32–36
- Chan, D.W., Paul, J.T., Dozier, A., 2004. Keetch–byram drought index: can it help predict wildland fires? *Fire Manag. Today* 64(2), 39 – 42
- Choi, J., Cooke, W.H., Stevens, M.D., 2009. Development of a Water Budget Management System for Fire Potential Mapping. *Gisci. Remote Sens.*, 46(1), 39–53. DOI: 10.2747/1548-1603.46.1.39
- Cooke, W., Anantharaj, V., Wax, C., Choi, J., Grala, K., Jolly, M., Dixon, G.P., Dyer, J., Evans, D.L. and Goodrich, G.B., 2007. Integrating Climatic and Fuels Information into National Fire Risk Decision Support Tools. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-46CD*. Page 555 – 569.
- Dimitrakopoulos A.P. and A.M. Bemmerzouk. Predicting Live Herbaceous Moisturecontent from a Seasonal Drought Index. 2003. *Int J Biometeorol*, 47:73-79. DOI 10.1007/s00484-002-0151-1.
- Hansen M.C., S.V. Stehman, P.V. Potapov, B. Arunarwati, F. Stolle, and K. Pittman. 2009. Quantifying changes in the rates of forest clearing in Indonesia from 1990 to 2005 using remotely sensed data sets. *Environ. Res. Lett.* 4 (2009) 034001. doi:10.1088/1748-9326/4/3/034001
- Holmes D. 2000. *Deforestation in Indonesia: A Review of the Situation 1999*. Jakarta: World Bank.
- Houghton R. 2010. *Emissions Carbon From Land Management*. World Development Report 2010
- Keetch JJ and GM Byram. 1968. *A Drought Index for Forest Fire Control*. USDA Forest Service, South-eastern Forest Exp. Sta. Res. Pap. SE-38.
- Liu Y., Stanturf, J., Goodrick, S., 2010. Trends in global wildfire potential in a changing climate. *Forest Ecol. Manag.* 259, 685–697.
- Murdiyarto, D., Widodo, M., Suyanto, D., 2002a. Fire risks in forest carbon projects in Indonesia. *Sci. China Ser C*, 65–74. Vol. 45 Supp
- Murdiyarto D, M. Van Noordwijk; U.R. Wasrin; T.P. Tomich, and A.N. Gillison. 2002b. Environmental benefits and sustainable land-use options in the Jambi transect, Sumatra. *Journal of Vegetation Science* 13: 429-438
- Petros, G., Antonis, M., Marianthi, T., 2011. Development of an adapted empirical drought index to the Mediterranean conditions for use in forestry. *Agric. For. Meteorol.* 151, 241–250
- Reardon, J., Curcio, G., and Bartlette, R., 2009. Soil moisture dynamics and smoldering combustion limits of pocosin soils in North Carolina, USA. *Int. J. Wildland Fire* 18, 326–335
- Sparks, J.C., Masters, R.E., Engle, D.M., Bukenhofer, G.A., 2002. Season of Burn Influences Fire Behavior and Fuel Consumption in Restored Shortleaf Pine–Grassland Communities. *Restor. Ecol.* 10(4), 714–722.
- Taufik M. 2010. *Sistem peringkat bahaya kebakaran hutan di HTI PT Sebangun Bumi Andalas Wood Industries Kabupaten OKI, Sumatra selatan*. Tesis – Sekolah Pascasarjana IPB.
- Van Wagner CE. 1987. Development and structure of the Canadian forest fire weather index system. *Canadian For. Ser. Tec. Rep.* 35, 37 pp.